

24.3.2015

Sädehoidon suojauslaskelmat - laskuesimerkkejä

Yleistä

Uusien tilojen suunnittelussa on hyvä muistaa, että tilat ovat usein käytössä useita kymmeniä vuosia ja laitteet vaihtuvat lähes kymmenen vuoden välein. Suojat kannattaa alkuvaiheessa mitoittaa hieman paksummiksi tai ainakin varata tilaa, jotta jälkepäin voi suojausta lisätä. Osa suojauksesta voi olla helposti purettavissa koneen vaihtoa varten. Lisäksi sädehoitohuoneiden viereisiä tiloja kannattaa varata huolto- ja varastotarkoituksiin. Säteilyturvakeskus antaa tarvittaessa lisätietoja.

Tarkkailualueella säteilytoiminnasta aiheutuva annos ei saa ylittää arvoa 120 μSv viikossa ja muilla alueilla arvoa 6 μSv viikossa. Lisäksi hetkellinen annosnopeus ei saa ylittää arvoa 20 $\mu\text{Sv/h}$ kohdissa, joissa oleskellaan tai työskennellään jatkuvasti. Laskelmat suoritetaan hoitolaitteen suurimmalla kiihdytysenergialla ja kenttäkokoarvolla, ellei ole perusteltua syytä poiketa niistä. Annosnopeus valitaan pääsääntöisesti suurimman käyttöön tulevan arvon perusteella. Mikäli laitteen käyttömäärää ei etukäteen tiedetä, käytetään vähintään arvoa 800 Gy/viikko.

Oleskelutekijä (T) huomioi tilan käyttöasteen. Mikäli tilassa oleskellaan hoitolaitteen käytön aikana, käytetään oleskelutekijän arvoa $T = 1$, mutta muulloin T voi olla pienempikin. Työtiloissa (esimerkiksi ohjaushuone, toimisto, laboratorio), odotustiloissa ja potilashuoneissa käytetään oleskelutekijää $T = 1$. Sisä- ja ulkotiloissa, joissa ei oleskella jatkuvasti (esimerkiksi WC, käytävä, katu, varasto), tekijän arvo on vähintään 0,1. Mikäli käytävässä liikutaan jatkuvasti, on syytä käyttää oleskelutekijälle arvoa $T = 1$.

Suuntatekijä (U) huomioi sen, että koneen säteilykeila ei kohdistu aina samaan suuntaan. Isosentrisissä hoitolaitteissa tekijäksi kannattaa valita arvo $U = 1$ alaspäin ja vähintään arvo $U = 0,25$ muihin mahdollisiin suuntiin. Mikäli laitetta suunnitellaan käytettäväksi huomattavan paljon tiettyyn suuntaan, kuten esimerkiksi kokokehohoidoissa, on syytä valita kyseisen suunnan suuntatekijän arvoksi $U = 1$.

Annos primaarisäteilykeilassa suojuksen takana

Primaarisäteilykeilassa tarvittavan suojuksen läpäisykerroin B on

$$B = \frac{D_{max} \cdot r^2}{D_I \cdot U \cdot T \cdot r_0^2}, \quad (1)$$

missä D_{max} on suunnitteluarvo (120 μSv tai 6 μSv viikossa). Tarkastelupisteen etäisyys säteilylähteeseen (kiihdyttimen kohtioon) on r . Kohtion ja isosentrin välinen etäisyys on r_0 . D_I on viikon ajalle suunniteltu käyttömäärä (maksimiannos veteen isosentrisessä). U on suuntatekijä ja T on oleskelutekijä.

24.3.2015

Mikäli tarkastelupisteessä oleskellaan tai työskennellään jatkuvasti, on lisäksi tarkastettava riittääkö edellä laskettu vaimennus myös hetkellisesti. Hetkellinen annosnopeus \dot{D} voidaan laskea kaavasta

$$\dot{D} = \frac{\dot{D}_0 \cdot B \cdot r_0^2}{r^2}, \quad (2)$$

missä \dot{D}_0 on hoitolaitteen annosnopeus isosentrissä ja muut merkinnät kuten edellä. Suunta- ja oleskelutekijää ei tässä käytetä.

Mikäli viikossa aiheutuvan annoksen perusteella arvioitu suojaus ei ole riittävä hetkellisen annosnopeuden rajoittamiseen, tarvittava läpäisykerroin lasketaan hetkellisen annosnopeuden mukaan (kaava 2).

Suojuksiin tarvittavien kymmenespaksuuksien (TVL, katso taulukko 1.) lukumäärä n on

$$n = \log_{10}(1/B). \quad (3)$$

Tarvittava suojuksen paksuus s lasketaan kaavasta

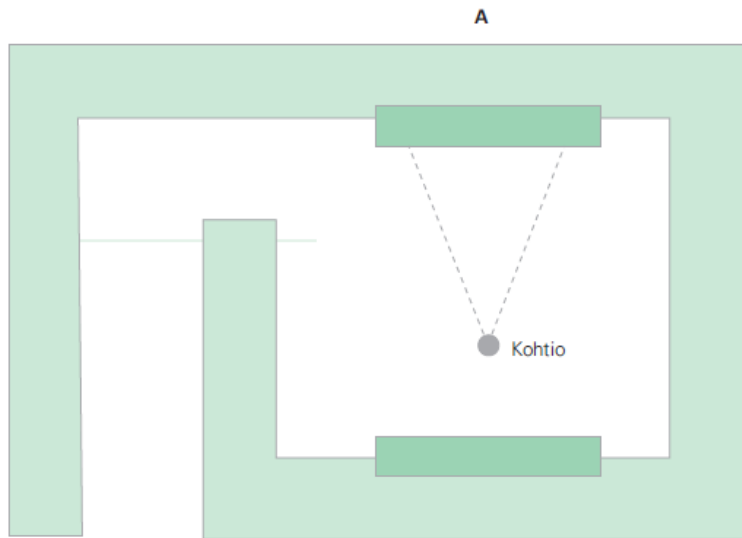
$$s = TVL_1 + (n - 1) \cdot TVL_e. \quad (4)$$

TVL_1 tarkoittaa ensimmäistä kymmenespaksuutta ja TVL_e tämän jälkeen tulevia kymmenespaksuuksia. TVL :n arvot valitaan käytettävien materiaalien ja säteilyn energian mukaan taulukosta 1.

Maksimienergia [MeV]	Lyijy		Betoni		Teräs		Sora	
	TVL ₁	TVL _e	TVL ₁	TVL _e	TVL ₁	TVL _e	TVL ₁	TVL _e
2	35	40	220	200	75	70	-	340
4	50	55	290	290	90	90	-	490
6	55	55	350	350	100	100	-	570
8	55	55	380	380	105	105	-	630
10	55	55	410	400	105	105	-	650
12	55	55	440	420	105	105	-	690
15	55	55	470	440	110	110	-	720
20	55	55	490	450	110	110	-	730
25	55	55	510	460	110	110	-	750

TAULUKKO 1. Primaarisäteilyn kymmenespaksuudet [mm].

24.3.2015



Kuva 1. Tyypillinen sädehoitohuone.

Esimerkki 1. Primaarisäteilyn suojausten mitoitus

Lasketaan teräksestä tehtävän lisäsuojauksen tarve, kun suojataan valvomatonta aluetta rakennuksen ulkopuolella: piste A kuvassa 1. Oletukset: Laitteen annosnopeus isosentrissä 4 Gy/min. Suunniteltu käyttömäärä 875 Gy/viikko, josta noin 500 Gy suurimmalla kiihdytysenergialla 15 MeV. Piste A etäisyys kohtioon on 5,5 m. Alueella sallittu viikkoannos on 6 μ Sv. Oleskelutekijä T on 0,1 ja suuntatekijä U on 0,25. Seinässä on alun perin 13 cm terästä ja 100 cm betonia. Laskennan pohjana käytetään aina suurinta energiaa. Tällöin läpäisykerroin saa kaavan (1) mukaisesti olla enintään

$$B = \frac{6 \cdot 10^{-6} \text{ Sv} \cdot (5,5 \text{ m})^2}{875 \text{ Sv} \cdot 0,25 \cdot 0,1 \cdot (1 \text{ m})^2} = 8,3 \cdot 10^{-6}$$

ja tarvittava kymmenespaksuuksien määrä on siis $n = \log_{10}(1/B) = 5,08 \text{ TVL}$.

Koska teräs on säteilyn tulosuunnassa ensin ja sen TVL_1 ja TVL_e ovat samat, saadaan teräskerroksen kymmenespaksuuksien määrä n_t suoraan jakamalla teräksen paksuus sen TVL-arvolla, eli $n_t = 13 \text{ cm} / 11 \text{ cm} = 1,182$. Koska betoni on teräksen jälkeen, saadaan betonin kymmenespaksuuksien määrä n_b jakamalla betonin paksuus sen TVL_e -arvolla eli $n_b = 100 \text{ cm} / 44 \text{ cm} = 2,273$. Yhteensä kymmenespaksuuksia on siis $n_t + n_b$ eli 3,45. Halutusta 5,08 TVL:stä puuttuu noin 1,6 TVL:ää, joka saavutetaan 18 senttimetrin lisäteräksellä.

Mikäli alueella oleskellaan jatkuvasti, yllä olevan mukaisesti suunniteltu lisäsuojaus ei ole riittävä, koska hetkellinen annosnopeus pisteessä A on

$$\dot{D} = \frac{4 \text{ Sv/min} \cdot B \cdot (1 \text{ m})^2}{(5,5 \text{ m})^2} = 1,1 \mu \text{ Sv/min} = \frac{66 \mu \text{ Sv}}{\text{h}}$$

mikä ylittää raja-arvon 20 μ Sv/h. Annosnopeuden pienentämiseksi teräksen paksuutta on siksi lisättävä vielä noin puolella kymmenespaksuudella, eli tarvittava lisäteräspaksuus on yhteensä 24 cm aiemmin lasketun 18 cm:n sijasta.

24.3.2015

Annos sekundaarisäteilystä suojuksen takana

Sekundaarisäteilyä syntyy, kun primaarikeila osuu potilaaseen tai hoituhuoneen seinämiin. Lisäksi on huomioitava kaikkiin suuntiin kohdistuva hoitolaitteen vuotosäteily. Suojuksia mitoitettaessa sironneen säteilyn osuus yli kymmenen megaelektronivoltin kiihdytysenergialla on useimmiten merkityksetön vuotosäteilyyn verrattuna. Sironneen säteilyn vaikutus on kuitenkin huomioitava kulkukäytävän suunnittelussa. Taulukossa 2 on esitetty sirontakertoimia ja taulukossa 3 sekundaarisäteilyn kymmenyspaksuuksia.

Sirontakulma	6 MV	10 MV
30	0,007	0,003
45	0,0018	0,001
60	0,0011	0,0005
90	0,0006	0,0003
135	0,0004	0,0002

Taulukko 2. Sirontakertoimet. Taulukossa esitetyt sirontakertoimet ilmaisevat sironneesta säteilystä aiheutuneen annoksen ja kenttäannoksen suhteen, kun kenttäkoko sirottavan kohteen pinnalla on 400 cm² ja tarkasteltavan kohdan etäisyys kohteesta on yksi metri.

Suurimpana vuotosäteilyn lähteenä voidaan kiihdyttimillä pitää kohtiota. Mikäli hoitolaitteen valmistaja ei ole antanut tarkempaa arvoa, käytetään suojia mitoitettaessa vuotosäteilyn määränä 0,5 prosenttia isosentriannosnopeudesta. Nykyisin kuitenkin hyvälaatuisen kiihdyttimen vuoto on jopa alle 0,05 prosenttia isosentriannosnopeudesta, joten laitetiedot kannattaa varmistaa ennen suojauslaskelmien tekoa, jotta suojia ei ylimitoiteta turhaan. Tarvittava läpäisykerroin lasketaan kuten primaarisäteilylle, korjattuna kuitenkin vuotosäteilyn määrään ($0,005 \cdot D_I$ kaavassa 5)

$$B = \frac{D_{max} \cdot r^2}{D_I \cdot 0,005 \cdot T \cdot r_0^2} \quad (5)$$

Lisäksi on huomioitava sironnut säteily, mikäli suurin kiihdytysenergia on alle kymmenen megaelektronivolttia.

24.3.2015

Maksimienergia [MeV]	Lyijy		Betoni		Teräs		Sora	
	TVL ₁	TVL _e	TVL ₁	TVL _e	TVL ₁	TVL _e	TVL ₁	TVL _e
2	35	40	220	200	75	70	-	340
4	50	55	290	290	90	90	-	490
6	55	55	350	350	100	100	-	570
8	55	55	380	380	105	105	-	630
10	55	55	410	400	105	105	-	650
12	55	55	440	420	105	105	-	690
15	55	55	470	440	110	110	-	720
20	55	55	490	450	110	110	-	730
25	55	55	510	460	110	110	-	750

Taulukko 3. Sekundaarisäteilyn kymmenespaksuudet [mm].

Sironneen säteilyn vaatiman suojauksen läpäisykerroin B_s lasketaan kaavasta

$$B_s = \frac{D_{max} \cdot r_1^2 \cdot r_2^2}{D_I(a/0,04) \cdot A \cdot T \cdot r_0^2} \quad (6)$$

Säteilylähteen etäisyys sirottavasta kohteesta on r_1 ja sirottavan kohteen etäisyys tarkastelupisteestä r_2 . Sironnakerroin a (taulukosta 2) valitaan sironnakulman ja energian perusteella. A on se ala sirottavan kohteen pinnalla, johon suora säteily osuu. Tekijä 0,04 kaavassa johtuu siitä, että sironnakerroin on annettu 0,04 m² kokoiselle kentälle. Lisäksi on tarkasteltava, riittääkö edellä laskettu vaimennus myös hetkellisesti.

Edellä esitettyjen suojausten mitoitusten lisäksi samoja kaavoja voidaan käyttää myös arvioitaessa esim. hoituhuoneessa tahattomasti altistuneen henkilön annoksia.

Esimerkki 2. Henkilön saaman annoksen arviointi onnettomuustilanteessa

Huoltomies oli korjaamassa hoituhuoneen nurkassa olevaa sähköpistoketta, eikä konetta käynnistävä henkilö huomannut häntä varmistaessaan, ettei huoneessa ole ketään. Huoltomies oli noin kolmen metrin etäisyydellä kuuden megaelektronivoltin keilasta, jonka koko oli 20 cm x 20 cm metrin etäisyydellä olleen fantomin pinnalla. Kanturikulma oli 0 astetta (keila suoraan alaspäin). Hoitolaitteen vuotosäteilyn annosnopeus on 0,1 prosenttia isosentriannosnopeudesta. Huoltomies ehti painaa hätäkytkintä kymmenen monitoriyksikön jälkeen (mikä vastasi annosta $D_0 = 0,1$ Gy isosentrissä). Arvioi huoltomiehen saama efektiivinen annos. Tässä muunnoskertoimena absorboituneesta annoksesta efektiiviseen annokseen voi käyttää arvoa 1 Sv/Gy.

Hoitolaitteen vuotosäteilystä saatu annos on

$$D_v = \frac{D_0 \cdot r_0^2 \cdot 0,001}{r^2} = \frac{0,1 \text{ Gy} \cdot (1 \text{ m})^2 \cdot 0,001}{(3 \text{ m})^2} \approx 11 \mu \text{ Sv}.$$

Sironnakerroin saadaan taulukosta 2, jolloin sironneesta säteilystä aiheutuneeksi annokseksi huoltomiehen kohdalla (90 asteen kulmassa keilaan nähden) voidaan arvioida

24.3.2015

$$D_s = \frac{D_0 \cdot r_0^2 \cdot (a/0,04) \cdot A}{r_1^2 \cdot r_2^2} = \frac{0,1Gy \cdot (1m)^2 \cdot (0,0006/0,04) \cdot 0,04m^2}{(1m)^2(3m)^2} \approx 7\mu Sv.$$

Annokset lasketaan yhteen, jolloin huoltomiehen efektiiviseksi annokseksi saadaan noin 18 μ Sv. Vaikka annos on selvästi kirjauskynnyksen alittava, on poikkeuksellisesta tapauksesta kuitenkin laadittava ilmoitus Säteilyturvakeskukselle.